



TITLE:

Model Analysis on Plasma Start-Up for Toroidal Fusion Devices(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Hada, Kazuyoshi

CITATION:

Hada, Kazuyoshi. Model Analysis on Plasma Start-Up for Toroidal Fusion Devices. 京都大学, 2016, 博士(エネルギー科学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19827>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により要約は2017-04-01に公開; 許諾条件により要旨は2017-04-01に公開

(続紙 1)

京都大学	博士（エネルギー科学）	氏名	羽田和慶
論文題目	Model Analysis on Plasma Start-Up for Toroidal Fusion Devices （トロイダル核融合装置におけるプラズマ着火の研究）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、トロイダル磁場閉じ込め核融合装置におけるプラズマ着火の物理過程に関し、プラズマ着火モデルの開発、及び、その数値計算シミュレーション結果をまとめたものであり、5章からなっている。</p> <p>第1章は序論である。プラズマ着火・立ち上げは核融合プラズマ燃焼の出発点となるため、核融合発電の実現には非常に重要であり、また、着火の物理過程については完全に理解されておらず、信頼性ある着火のために研究の進展が望まれている。近年主流となっている超伝導コイルを用いたトカマク装置では着火可能圧力範囲が非常に狭いため、電子サイクロトロン共鳴加熱(ECRH)による予備電離が想定されている。現在、建設中の超伝導トカマク装置 JT-60SA において ECRH による予備電離が準備されているが、物理過程の理解に基づく ECRH によるプラズマ着火の予測と方法論の確立がシステムを構築する上で重要である。一方、ヘリカル装置において、ECRH に依らない中性粒子入射(NBI)によるプラズマ着火が着目されており、Heliotron J 装置において 2.45GHz マイクロ波アシストによってプラズマ着火が可能となっている。このプラズマ着火については定性的な理解はあるものの、十分な物理モデル構築が進んでおらず、定量的な評価の行える物理モデルの構築が要請されている。このような背景を説明し、本研究の目的と意義を述べている。</p> <p>第2章では、トカマク装置における ECRH 補助によるプラズマ着火について、0次元モデルによる解析を行っている。プラズマが空間的に一様に分布すると仮定したモデル方程式は、電子および中性粒子の粒子密度バランス方程式、イオンおよび電子のエネルギーバランス方程式、電気回路方程式から成る。これを数値的に解くことにより、電子および中性粒子密度、電子およびイオン温度、プラズマ電流の時間発展を調べた。プラズマ着火成功のためには ECRH パワーに閾値があることを示すとともに、本モデル解析と JT-60U 実験データとの比較により、プラズマ電流をファクター2以内の精度で再現した。</p> <p>第3章では、径方向分布を考慮に入れた 1次元モデルの構築および数値解析結果について述べている。0次元モデルを拡張したモデル方程式は、電子および中性粒子の粒子輸送方程式、電子およびイオンの熱輸送方程式、電流拡散方程式から構成されている。本モデルの構築により、第2次高調波 ECRH 補助において、ECRH の吸収効率をモデルに組み込むことに成功するとともにプラズマの径方向分布の時間発展を追うことが可能となった。数値計算の結果、時間フェーズによって支配的な物理過程が異なること、また、ECRH によって電子密度が上昇後、ECRH パワー吸収係数と電子温度の間に正のフィー</p>			

ドバックが働く場合にプラズマ着火が成功することを明らかにした。また、プラズマ実験に向けて必要とされる ECRH パワー及び初期中性粒子密度条件についての指針を与えた。

第4章では、ヘリオトロン J における NBI 着火モデルの構築、実験データ取得および数値解析結果との比較を行った。0 次元モデルをベースとするモデル方程式は、高速水素イオンのバランス方程式、多種イオン、中性粒子のバランス方程式、電子および水素イオン、重水素イオンのエネルギーバランス方程式から構成されている。また、水素・重水素分子のプラズマ外からプラズマ内への侵入長の計算などプラズマの空間的な分布の効果を含めている。NBI プラズマの着火物理過程を調べたところ、電子密度立ち上げが成功する場合は、高速水素イオンの生成が大きいことで電子の加熱が十分に起こり、高速水素イオンにより加熱された電子がガス分子を解離させる。結果として、ガス分子の解離によりバルクイオン密度が大きくなり、高速水素イオンの生成が行われる。これらの物理過程が正のフィードバックループを形成し、電子密度立ち上げが成功することを数値計算で示した。電子密度立ち上げのシードプラズマ密度、ガスパフのタイミング、NBI パワーに対する依存性についての実験結果との比較を行い、本モデルの解析結果が実験の傾向を概ね再現し、電子密度立ち上げが成功する場合の物理過程についての説明に成功した。

第5章は総括であり、本論文で得られた成果について要約している。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、トロイダル磁場閉じ込め核融合装置におけるプラズマ着火の物理過程に関し、プラズマ着火モデルの開発、及び、その数値計算結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

(1) 現在、我が国で建設中の超伝導トカマク JT-60SA 装置における電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECRH) 補助によるプラズマ着火特性を分析するため、粒子密度バランス方程式、エネルギーバランス方程式、電気回路方程式から成る 0 次元モデルを構築した。数値計算の結果、ECRH パワーに閾値があることを明らかにするとともに、既存データとして JT-60U 実験結果を用いて、プラズマ電流の時間発展をファクター2 の範囲で再現することに成功した。

(2) 上記 JT-60SA 装置のための 0 次元モデルを拡張し、径方向熱・粒子拡散を考慮に入れた 1 次元輸送モデルを構築した。第 2 次高調波 ECRH の吸収効率を組み込むとともに、プラズマの径方向分布の時間発展を追うことを可能にした。時間フェーズによって支配的な物理過程が異なること、また、ECRH によって電子密度が上昇後、ECRH パワー吸収係数と電子温度の間に正のフィードバックが働く場合にプラズマ着火が成功することを明らかにした。

(3) ヘリオトロン J 装置における NBI プラズマ着火の物理過程を調べるため、高速水素イオン及びイオン・中性粒子の粒子バランス方程式、電子・イオンのエネルギーバランス方程式から構成される 0 次元モデルを構築した。数値計算の結果、高速水素イオンの生成と電子の加熱、高速水素イオンにより加熱された電子によるガス分子の解離過程がプラズマ着火成功における支配的な物理過程であることを明らかにした。NBI プラズマ着火実験に適用し、ガスパフタイミング依存性、NBI パワー依存性に関する実験の結果を説明することに成功した。

これらの成果は核融合科学・エネルギー科学に大きく貢献するものであり、得られた結果は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 2 月 18 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 2017 年 4 月 1 日以降